

• • • • •

• • •

Scare

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 84

(71)Applicant : OMI TADAHIRO
TOKYO ELECTRON LTD
FUJIKIN INC

(72)Inventor : OMI TADAHIRO
INUI HIDEJIRO
SAKAI TAIJI
UEYAMA MASAYOSHI
SUGIYAMA KAZUHIKO
UNO TOMIO
IKEDA SHINICHI
NISHINO KOJI
NAKAMURA OSAMU
DOI RYOSUKE
MATSUMOTO SENSUJI

100

11



P2/P1=r obtained from an upstream pressure P1 and a downstream pressure P2 is always compared with a critical value r_c . The flow amount is calculated using $Q_c=KP1$ for a critical condition ($r \leq r_c$), and using $Q_c=KP2m(P1-P2)^n$ for a critical condition ($r > r_c$). The flow control device then accurately and speedily controls the flow amount to be the target flow amount while corresponding to all conditions of the fluid.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.12.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-195948

(P2003-195948A)

(43) 公開日 平成15年7月11日 (2003.7.11)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード(参考) |
|---------------------------|------|--------------|-------------|
| G 0 5 D | 7/06 | G 0 5 D 7/06 | Z 2 F 0 3 0 |
| G 0 1 F | 1/00 | G 0 1 F 1/00 | F 5 H 3 0 7 |
| | 1/42 | 1/42 | Z |

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-399433(P2001-399433)

(22) 出願日 平成13年12月28日 (2001.12.28)

(71) 出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番6号

(71) 出願人 390033857

株式会社フジキン

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号

(74) 代理人 100082474

弁理士 杉本 丈夫 (外1名)

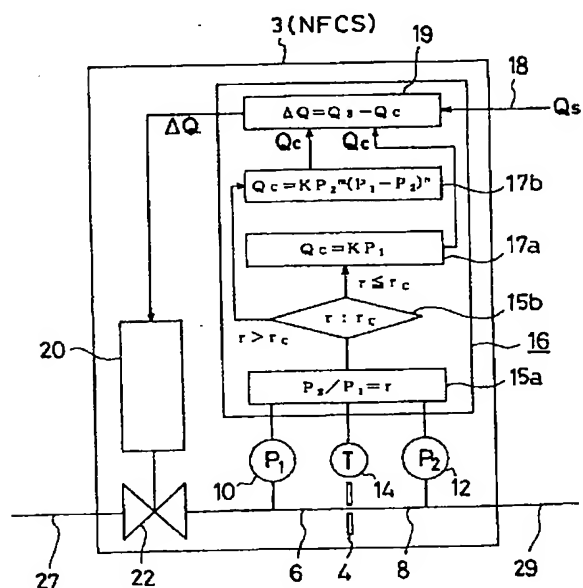
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改良型圧力式流量制御装置

(57) 【要約】

【課題】 非臨界領域において圧縮性流体の実際の流量に高精度にフィットする実験流量式を確立し、この実験流量式を用いて高精度に流量制御を行なえる改良型圧力式流量制御装置を開発する。

【解決手段】 非臨界領域（非音速領域）における圧縮性流体の実験流量式を $Q_c = K P_1^m (P_1 - P_2)^n$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により演算して、正確かつ高速に目的流量へと流量制御できる改良型圧力式流量制御装置を提供する。また、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から得られる圧力比 $P_2/P_1 = r$ を常に臨界値 r_c と比較して、臨界条件（ $r \leq r_c$ ）では $Q_c = K P_1$ により、非臨界条件（ $r > r_c$ ）では $Q_c = K P_1^m (P_1 - P_2)^n$ により流量を演算して、流体の全条件に対応しながら、正確かつ高速に目的流量へと流量制御できる改良型圧力式流量制御装置を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 流量制御用のオリフィスに流体を流通させるとき、オリフィスの上流側圧力 P_1 とオリフィスの下流側圧力 P_2 を用いて、オリフィスを通過する流体流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算することを特徴とする改良型圧力式流量制御装置。

【請求項2】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算する流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することを特徴とする改良型圧力式流量制御装置。

【請求項3】 前記オリフィスから流出する流体の速度が音速よりも小さい状態にある非臨界条件の下で作動する請求項2に記載の改良型圧力式流量制御装置。

【請求項4】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 の圧力比によってオリフィスから流出する流体が臨界条件(音速領域)にあるかどうかを判断する臨界条件判断手段と、非臨界条件では上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算する非臨界流量演算手段と、臨界条件では前記演算流量 Q_c を $Q_c = K P_1$ (K は比例定数)により演算する臨界流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することを特徴とする改良型圧力式流量制御装置。

【請求項5】 臨界圧力比 $r_c (= P_2/P_1)$ は $(2/(n+1))^{1/(n+1)}$ (但し、 n は C_p/C_v で定義される流体分子の比熱比)で計算され、圧力比 P_2/P_1 が臨界圧力比 r_c 以下のときに臨界条件と判断し、また臨界圧力比より大きいときに非臨界条件と判断する請求項3又は4に記載の改良型圧力式流量制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は主として半導体製造設備や化学プラント等で使用される圧力式流量制御装置に関し、更に詳細には、流体速度が音速よりも小さい領域で供給される流体の流量を新規な実験式を用いて正確に定め、この実験式に基づいて流体流量を正確に供給制御する改良型圧力式流量制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造設備や化学プラントなどでは、原料となる複数のガスを所定の流量で供給し、原料ガスを反応炉の中で化学反応させて目的ガスを生成する場合が多い。このような場合に、原料ガスの供給流量が正確でないと化学反応に過不足が生じ、目的ガスの中に原料ガスが残留する事態が生じる。

【0003】未反応状態で残留する原料ガスは不純物ガスとなり、目的ガスの純度を低下させる。特に、未反応残留ガスが爆発性のガスである場合には、後続の製造設備において爆発の危険性が付きまとい、その処理に余分な手間が掛かるという事態が生じる。

【0004】そこで、ガス流量を正確に供給制御することが必要となり、従来からマスフローコントローラをガス流量制御装置として利用する場合が多かった。ところが、マスフローコントローラには、①応答速度が比較的遅い、②低流量域における流量精度が悪い、③作動時のトラブルが多い、しかも④高コストである、等の多くの欠点があった。

【0005】そのため、マスフローコントローラ以外の方式でガス流量制御の精度を高める必要性が指摘されていた。この要請を受けて、本発明者等は、オリフィスを通過する流体を臨界条件、即ち音速領域に強制設定して流量制御する圧力式流量制御装置を開発し、特開平10-55218号としてその発明を公開している。

【0006】図5は従来から用いられている流体流量の理論式の説明図である。上流側圧力 P_1 に設定された上流側配管からオリフィスに流入した流体を、下流側配管に下流側圧力 P_2 で供給する場合を考える。ここで、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 は絶対圧力で表されている。

【0007】オリフィスを通過する流体速度が音速に達する前と、音速に達した後では、流体の流量条件が極端に変化する事が分かっている。音速に達する前の非臨界条件(非音速領域)では、下流側流量 Q は $Q = SC (P_2 (P_1 - P_2))^{1/2} / T^{1/2}$ で与えられるが、音速に達した後の臨界条件(音速領域)では $Q = SC P_1 / T^{1/2}$ が成立する。ここで、 T はオリフィス通過時の流体の絶対温度、 S はオリフィス孔断面積、 C は比例係数である。

【0008】流体速度が音速に達する臨界条件は、圧力比 P_2/P_1 の臨界値 r_c で与えられることが流体力学から分かっている。この臨界値 r_c は、ガスの比熱比 n を

用いて、 $P_2/P_1 = r_c = (2/(n+1))^{n/(n-1)}$ により与えられる。

【0009】比熱比 n は $n = C_p/C_v$ で与えられ、 C_p は定圧比熱、 C_v は定積比熱である。2原子分子ガスでは、 $n = 7/5 = 1.4$ であり、 $r_c = 0.53$ となる。また非直線型3原子分子ガスでは、 $n = 8/6 = 1.33$ であり、 $r_c = 0.54$ となる。従って、これらの数値を $r_c = \text{約}0.5$ と表記する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】図5に示すように、上流側圧力 P_1 を一定とし、下流側圧力 P_2 を変数として臨界条件と非臨界条件を構成する場合を考える。臨界条件は $P_2/P_1 \leq r_c (= \text{約}0.5)$ であるから、 $P_2 \leq r_c P_1 (= 0.5 P_1)$ の領域が音速領域である。逆に、 $P_2 > r_c P_1 (= 0.5 P_1)$ が非音速領域（非臨界条件）となる。

【0011】前述したように、流体が非臨界条件（非音速領域）にあるとき、オリフィスを通過する流体流量 Q_c は $Q_c = SC(P_2(P_1 - P_2))^{1/2}/T^{1/2}$ で表される。この式を簡単にすると、 $Q_c = K(P_2(P_1 - P_2))^{1/2}$ となり、比例定数 K は $K = SC/T^{1/2}$ で表される。

【0012】この流量式はベルヌーイの定理から導出されるが、ベルヌーイの定理は流体が非圧縮性であるときに成立する理想的条件下の定理である。実際のガス流では圧縮したり膨張したりするのが通常であるから、この理論流量式 Q_c は実際の流量と比較して当然に誤差を有する。

【0013】非圧縮性が近似的に満足されるのは、流体の圧力変化が小さい場合、即ち比重量の変化が小さい場合である。流体がこのような理想的条件を満足する場合には、この流量式を用いて流体の流量制御が行なわれている。しかし、多くの場合には、この流体条件から外れるため、この流量式を用いると精度の高い流量制御を行なう事ができない。

【0014】そこで、本発明者等は前述した特開平10-55218号を公開し、圧力比 P_2/P_1 を臨界圧力比 r_c より強制的に小さくして臨界条件を設定し、この臨界条件下で流量制御する方式を提案している。従って、使用する理論流量式は $Q_c = K P_1$ で、比例定数 K は $K = SC/T^{1/2}$ で与えられる。

【0015】この臨界条件では、流量 Q_c が下流側の流体条件に依存しないため、流量制御が高精度に行なえるという利点を有している。しかし、この高精度制御性も臨界条件が成立することが前提である。臨界条件が成立しない流体に対し、 $Q_c = K P_1$ で流量制御すると相当の誤差を有することになる。

【0016】流量式として $Q_c = K P_1$ を使用しても、実際の流量が大きい場合には臨界条件が成立しているが、流量が小さくなるに従って、上流側圧力 P_1 と下流

側圧力 P_2 が接近し、非臨界条件が出現することがある。このような場合には、この流量式は成立しないから、流量制御に大きな誤差を含むことになってしまう。

【0017】つまり、従来の圧力式流量制御装置では二つの重大な欠点が存在する。第1に、非臨界条件下で使用される理論流量式が非圧縮性流体を前提としているために、非臨界条件での圧縮性流体の流量制御に大きな誤差が生じている。第2に、臨界条件の流量式を使用しても、下流側圧力 P_2 が上昇するに従って非臨界条件が出現し、流量式が変化するために大きな誤差を生み出すことがある。

【0018】従って、本発明に係る改良型圧力式流量制御装置の第一目的は、非臨界領域において圧縮性流体の実際の流量に高精度にフィットする流量実験式を確立し、この流量実験式を用いて高精度に非臨界領域における流量制御を行なう事である。また、その第二目的は、流体条件が臨界条件か非臨界条件かを常に判断しながら、臨界条件においては $Q_c = K P_1$ の流量式を用い、非臨界条件においては前記流量実験式を用いて、流量の全領域に対して高精度の流量制御を実現する事である。

【0019】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、流量制御用のオリフィスに流体を流通させるとき、オリフィスの上流側圧力 P_1 とオリフィスの下流側圧力 P_2 を用いて、オリフィスを通過する流体流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により演算することを特徴とする改良型圧力式流量制御装置である。

【0020】請求項2の発明は、流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により演算する流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することとを特徴とする改良型圧力式流量制御装置である。

【0021】請求項3の発明は、前記オリフィスから流出する流体の速度が音速よりも小さい状態にある非臨界条件の下で作動する請求項2に記載の改良型圧力式流量制御装置である。

【0022】請求項4の発明は、流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて

上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 の圧力比によってオリフィスから流出する流体が臨界条件（音速領域）にあるかどうかを判断する臨界条件判断手段と、非臨界条件では上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により演算する非臨界流量演算手段と、臨界条件では前記演算流量 Q_c を $Q_c = K P_1$ （ K は比例定数）により演算する臨界流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することの特徴とする改良型圧力式流量制御装置である。

【0023】請求項5の発明は、臨界圧力比 r_c （ $= P_2 / P_1$ ）は $(2 / (n + 1))^{1/(n+1)}$ （但し、 n は C_p / C_v で定義される流体分子の比熱比）で計算され、圧力比 P_2 / P_1 が臨界圧力比 r_c 以下のときに臨界条件と判断し、また臨界圧力比より大きいときに非臨界条件と判断する請求項3又は4に記載の改良型圧力式流量制御装置である。

【0024】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係る非臨界条件における流量実験式と流量測定値の比較図である。本発明者等は非臨界条件に使用される従来の理論流量式を検討した。ベルヌーイの定理から導出される従来流量式は、 $Q_c = K (P_2 (P_1 - P_2))^{1/2}$ である。書き換えると、 $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ となる。

【0025】この従来流量式は非圧縮性流体に対しては正確な式であり、例えば非圧縮性液体などの流体に対しては十分に精度のある流量式である。この流量式をガスなどの圧縮性流体に適合させるためには、この構造形式をできるだけ変えない複数パラメータを有した実験流量式を確立する必要がある。

【0026】そこで、本発明者等は、実験流量式として、 $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ を提案し、フィッティング用に m と n の2パラメータを導入することにした。ここで、比例定数 K は $K = SC / T^{1/2}$ で与えられ、ガス流の物質条件と絶対温度 T から計算される。

【0027】図1において、横軸は下流側圧力 P_2 を表し、単位は kPa （キロパスカル絶対圧）である。また、縦軸は流量 Q を表し、単位は $SCCM$ で、標準状態における cc/min 単位の流量を表す。 $P_1 = 4.8 [kPa]$ の縦破線は臨界値 r_c の位置を示し、左側の（A）領域は臨界条件の領域、右側の（B）領域は非臨界条件の領域を示している。

【0028】図中、黒菱形は流量の実測値をプロットし

たものであり、この実測値に合うように前記実験流量式 $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ を演算によりフィットさせ、パラメータ m 、 n を決定する。その結果、 $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ が得られた。

【0029】実験流量式によって計算される流量は黒四角でプロットされている。この実験流量式は非臨界条件（B）の全領域で実測値に高精度にフィットしており、また臨界条件（A）の領域でも縦破線に近い領域では実測値にフィットしている。 m と n の二つの自由パラメータによってフィットさせているため、臨界条件領域の一部においてもフィットする領域が現れたのである。

【0030】本発明者等の研究によれば、二つのパラメータ m 、 n の値は、制御される流量範囲に依存することが分かっている。前記した $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ の値は、流量が $0 \sim 10 sccm$ の領域において成立する値であるが、流量範囲が $0 \sim 100 sccm$ や $0 \sim 1000 sccm$ になると、 m と n の値はこれらの値からずれてくることが分かっている。

【0031】各流量範囲に対してフィットされた m と n の値をバラツキの観点からまとめると、 $0.40 < m < 0.50$ 及び $0.50 < n < 0.65$ の範囲が得られることが分かった。従って、実際の流量制御においては、制御される流量範囲に応じて、これらの範囲から選択された最適のパラメータ m 、 n の値が用いられる。

【0032】前述した $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ の値は、これらの範囲から選択された m 、 n の一例に過ぎない。しかしながら、ベルヌーイの定理から得られる $m = 0.5$ 及び $n = 0.5$ がこれらの範囲に含まれていないことは、特筆すべきことである。このことは実際の流体が非圧縮性流体という理想流体とは大きく異なることを意味している。本発明はこの現実流体に対して具体的に成立する流量実験式を発見してなされたものである。

【0033】以上から、非臨界条件における流量制御では、実験流量式として $Q_c = K P_2^m (P_1 - P_2)^n$ （ $0.40 < m < 0.50$ 、 $0.50 < n < 0.65$ ）を利用すれば、高精度の流量制御を実現できる。これはベルヌーイの定理から得られる従来の $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ よりもはるかに実測値を再現できるものである。同時に、臨界条件における理論流量式として $Q_c = K P_1$ を併用することにより、非臨界条件及び臨界条件の全領域にわたって高精度の流量制御を達成する事が可能となる。

【0034】図2は本発明の実験流量式を用いた改良型圧力式流量制御装置の第1実施形態の使用構成例である。この改良型圧力式流量制御装置2は、供給される流体が非臨界条件にある場合、即ちオリフィス4から流出する流体の流体速度が音速より小さい場合を前提に構成されている。

【0035】この改良型圧力式流量制御装置2には、オ

リフィス孔 4 a を形成したオリフィス 4、上流側配管 6、下流側配管 8、上流側圧力センサ 10、下流側圧力センサ 12、温度センサ 14、制御回路 16、バルブ駆動部 20 及びコントロールバルブ 22 が配置されている。

【0036】制御回路 16 はマイクロコンピュータと内蔵プログラムを中心に構成されているが、電子回路で構成してもよいし、電子回路と汎用パソコンで構成してもよい。この制御回路 16 は、実験流量式による流量 Q_c を演算する流量演算手段 17 と、流すべき設定流量 Q_s を指令する流量設定手段 18 と、演算流量 Q_c と設定流量 Q_s の流量差 $\Delta Q (= Q_s - Q_c)$ を計算する減算回路 19 から構成されている。流量差 ΔQ は $Q_c - Q_s$ により算出されてもよい。

【0037】この改良型圧力式流量制御装置 2 の上流側には、高圧ガスを内蔵するガスタンク 24 と、この高圧ガスのガス圧力を適度に調整するレギュレータ 26 と、このガスを供給側配管 27 からコントロールバルブ 22 に供給するバルブ 28 が接続されている。

【0038】また、改良型圧力式流量制御装置 2 の下流側には、流量制御されたガスを流通させる制御側配管 29 と、バルブ 30 と、チャンバー 32、及び真空ポンプとして機能するドライポンプ 34 が連結されている。

【0039】次に、この改良型圧力式流量制御装置 2 の制御動作を説明する。上流側では供給側配管 27 に所定圧力のガスが供給され、下流側ではドライポンプ 34 により制御側配管 29 が低圧に設定されている。

【0040】コントロールバルブ 22 により上流側配管 6 にガスが供給され、このガスの上流側圧力 P_1 が上流側圧力センサ 10 により計測される。同時に、オリフィス 4 から下流に供給されるガスの下流側圧力 P_2 が下流側圧力センサ 12 により計測される。また、オリフィス 4 を通過するガスの温度は温度センサ 14 により測定される。

【0041】この実施例では、ドライポンプ 34 の排気調整により、オリフィス孔 4 a から流出する流体速度は音速より小さく設定されており、常に非臨界条件が成立している。従って、制御回路 16 では圧力比 P_2/P_1 は演算されず、臨界値 r_c との比較判断はなされない。即ち、この実施例は $P_2/P_1 > r_c$ が常に成立した非臨界条件を前提として流量制御が行なわれる。

【0042】上流側圧力 P_1 、下流側圧力 P_2 及びガス温度 T は流量演算手段 17 に入力される。この流量演算手段 17 では、ガス温度 T から比例定数 K が計算され、両圧力 $P_1 \cdot P_2$ から $P_2^n (P_1 - P_2)^n$ が計算され、最終的に演算流量 Q_c が $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ から演算される。この演算流量 Q_c がオリフィス 4 により現在供給されている流量を示す。

【0043】下流側に供給されるべき目標となる流量は、流量設定手段 18 を通して設定流量 Q_s として入力

される。この設定流量 Q_s と前記演算流量 Q_c は減算手段 19 に入力され、流量差 ΔQ が $\Delta Q = Q_s - Q_c$ により計算される。この流量差 ΔQ が正なら流量不足であり、負なら流量過剰であることを意味する。

【0044】そこで、この流量差 ΔQ の信号がバルブ駆動部 20 に出力され、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブ 22 を開閉制御する。従って、流量不足 ($\Delta Q > 0$) ならコントロールバルブ 22 は少しだけ開度を大きくし、流量過剰 ($\Delta Q < 0$) ならコントロールバルブ 22 は少しだけ開度を小さくし、 ΔQ をゼロにするように自動調整される。

【0045】この改良型圧力式流量制御装置 2 では、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 が連続的に計測されるから、コントロールバルブ 22 の開閉は高速に連続制御され、流量制御の高精度化と自動化と高速化が同時に達成できる利点を有する。

【0046】本発明の要点となる実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ は非臨界条件下の流量を正確に表現するだけでなく、臨界条件の領域においても臨界値に隣接する領域の流量を正確に表現していることは既に説明している。従って、非臨界条件を前提とする流体制御系に限らず、非臨界条件と臨界条件の両者を包含する領域に対しても、この改良型圧力式流量制御装置 2 を使用することも可能である。

【0047】図 3 は本発明に係る実験流量式を用いた改良型圧力式流量制御装置の第 2 実施形態の使用構成図である。この第 2 実施形態では、改良型圧力式流量制御装置 3 の制御回路 16 の内部構成は図 2 の第 1 実施形態と異なっているだけで、他の構成は図 2 と同様であるから、異なる点だけを以下に説明して、他の部分の説明を省略する。

【0048】第 2 実施形態では、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から圧力比 P_2/P_1 を算出し、流体が臨界条件にあるか非臨界条件にあるかを常時判断し、臨界条件では流量式 $Q_c = K P_1$ を用い、非臨界条件では実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ を用いて現在最も厳密な方式で流量制御を行なうものである。

【0049】この第 2 実施形態の改良型圧力式流量制御装置 3 がベストモードであるから、この改良型圧力式流量制御装置 3 を NFCS (New Flow Control System) と称する。制御回路 16 は、圧力比演算手段 15 a、臨界条件判断手段 15 b、臨界流量演算手段 17 a、非臨界流量演算手段 17 b、流量設定手段 18 及び減算手段 19 から構成されている。

【0050】上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 が入力されると、圧力比演算手段 15 a では圧力比 P_2/P_1 が計算され、その値 r が記憶される。この値 r は臨界条件判断手段 15 b に入力され、臨界値 r_c と比較される。

【0051】前述したように、臨界値 r_c は $(2/(n+1))^{1/(n-1)}$ により与えられ、2 原子分子ガスでは

$r_c = 0.53$ 、非直線型3原子分子ガスでは $r_c = 0.54$ であり、 $r_c = 約0.5$ と表記される。

【0052】 $r > r_c$ のときは非臨界条件であり、非臨界流量演算手段17bにより、演算流量 Q_c は $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ から計算される。 $r \leq r_c$ のときは臨界条件であり、臨界流量演算手段17aにより、演算流量 Q_c は $Q_c = K P_1$ から計算される。このように現在の流体が臨界条件又は非臨界条件のいずれかにあるかを常時チェックしながら、実際の流量を適切な流量式で推定するのである。

【0053】最終的に、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を減算手段19で計算して、流量差 ΔQ がゼロになるようにバルブ駆動部20を動作させてコントロールバルブ22を開閉制御する。

【0054】図4は制御用の流量式が異なる場合の流量の比較図である。黒菱形は臨界条件の流量式 $Q = K P_1$ を全領域（臨界条件と非臨界条件）に対して使用した場合を示し、従来のFCS（Flow Control system）に相当する。他方、黒三角は図3に示すNFCS（新型FCS）に相当する。

【0055】最大流量を80[SCCM]とし、設定流量 Q_s を100%としたときに80[SCCM]の流量が流れるように設定する。従って、流量が大きいくほど臨界条件（音速領域）が満足され、流量が小さくなるほど非臨界条件（非音速領域）に移行すると考えられる。

【0056】従来のFCS（黒菱形）では $Q = K P_1$ の流量式だけで全領域を制御するから、設定流量が大きいく場合には臨界条件が満足され、正しい流量を示している。ところが、設定流量が小さくなると、非臨界条件に移行するから、臨界条件の流量式では正確な流量を反映せず、設定流量が10%もあるのに流量=0と間違った結果を出してしまう。従って、小流量域ではFCSを補正する機構が必要であった。

【0057】ところが、NFCSの場合には、臨界条件では臨界条件の流量式 $Q_c = K P_1$ を用い、非臨界条件では非臨界条件の実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ を用いるから、設定流量に比例した正確な流量 Q を算出し、流量 Q の設定%に対する直線性が図4の黒三角に示すように保証されている。

【0058】本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例・設計変更などをその技術的範囲内に包含することは云うまでもない。

【0059】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、オリフィスを通過する流体流量 Q_c を実際の流量を正確に再現する実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ で演算するから、流量制御を高精度に行なえる改良型圧力式流量制御装置

を実現できる。

【0060】請求項2の発明によれば、設定流量 Q_s に対し、演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ で演算し、両者の流量差 $\Delta Q (= Q_s - Q_c$ 又は $Q_c - Q_s)$ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御するから、供給流量を正確かつ高速に設定流量へと制御できる改良型圧力式流量制御装置を実現できる。

【0061】請求項3の発明によれば、オリフィスから流出する流体が非臨界条件にあるときに請求項2の改良型圧力式流量制御装置を動作させるから、高精度の改良型圧力式流量制御装置を提供できる。

【0062】請求項4の発明によれば、オリフィスから流出する流体が臨界条件にあるときには臨界条件の流量式 $Q = K P_1$ を用い、非臨界条件にあるときには非臨界条件の実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ を用いて流量制御するから、流体が臨界条件から非臨界条件の間を変化しても、この変化に高速に追従しながら流体の流量制御を高精度に行なうことができる。

【0063】請求項5の発明によれば、オリフィスの上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 を検出するだけで、流体が臨界条件にあるか非臨界条件にあるかを正確に判断でき、あらゆる流体制御に対応することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る非臨界条件における流量実験式と流量測定値の比較図である。

【図2】本発明に係る実験流量式を用いた改良型圧力式流量制御装置の第1実施形態の使用構成図である。

【図3】本発明に係る実験流量式を用いた改良型圧力式流量制御装置の第2実施形態の使用構成図である。

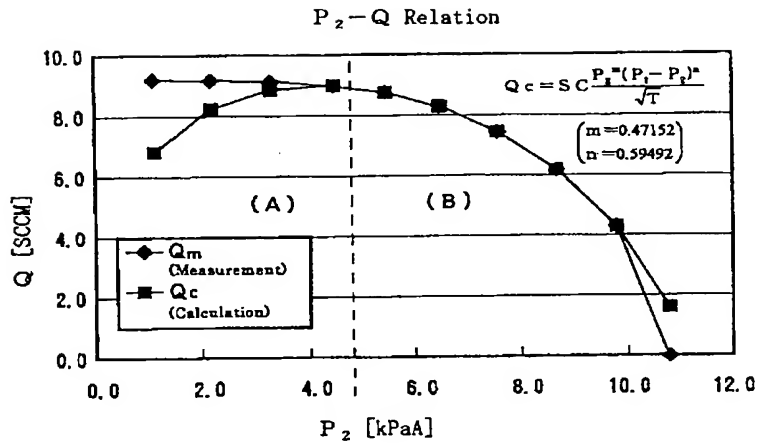
【図4】制御用の流量式が異なる場合の流量の比較図である。

【図5】従来から用いられている流体流量の理論式の説明図である。

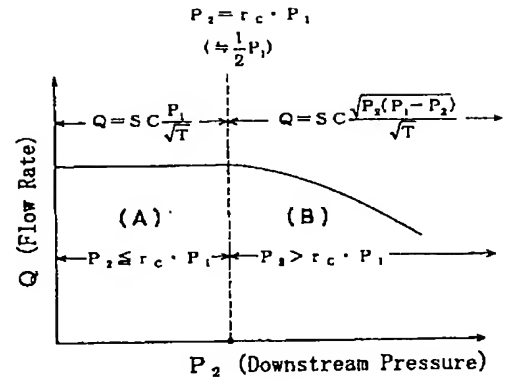
【符号の説明】

2は改良型圧力式流量制御装置、3は改良型圧力式流量制御装置（NFCS）、4はオリフィス、4aはオリフィス孔、6は上流側配管、8は下流側配管、10は上流側圧力センサ、12は下流側圧力センサ、14は温度センサ、15aは圧力比演算手段、15bは臨界条件判断手段、16は制御回路、17は流量演算手段、17aは臨界流量演算手段、17bは非臨界流量演算手段、18は流量設定手段、19は減算手段、20はバルブ駆動部、22はコントロールバルブ、24はガスタンク、26はレギュレータ、27は供給側配管、28はバルブ、29は制御側配管、30はバルブ、32はチャンバー、34はドライポンプ、 P_1 は上流側圧力、 P_2 は下流側圧力、 r は圧力比(P_2/P_1)、 r_c は臨界値、 Q_c は演算流量、 Q_s は設定流量、 ΔQ は流量差である。

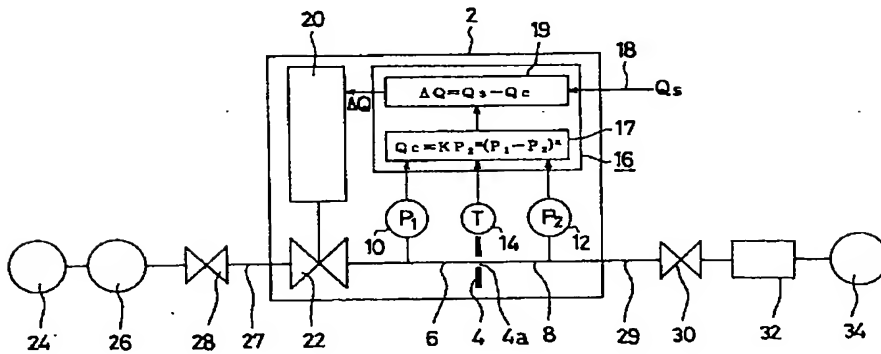
【図1】



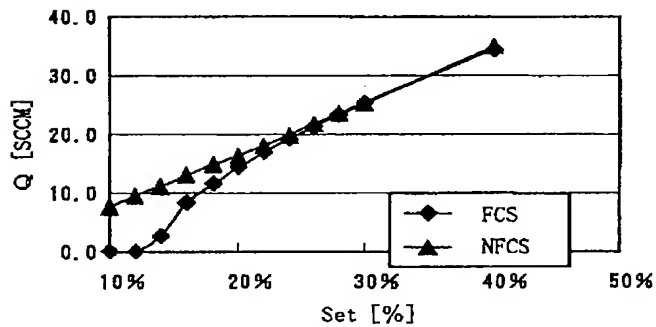
【図5】



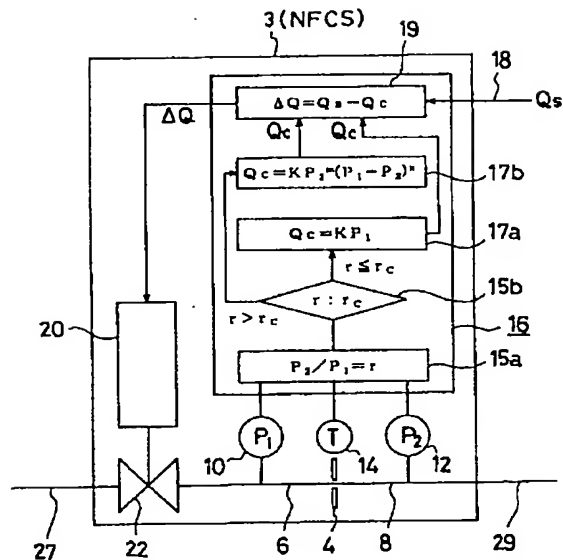
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 大見 忠弘
宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2丁目1番17-301号
(72)発明者 乾 秀二郎
兵庫県西宮市五月ヶ丘8-27
(72)発明者 酒井 泰治
大阪府吹田市垂水町1丁目20番25号
(72)発明者 植山 将宜
大阪府箕面市新稲3-8-8
(72)発明者 杉山 一彦
山梨県韮崎市藤井町北下条2381番地の1
東京エレクトロン株式会社内
(72)発明者 宇野 富雄
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内

(72)発明者 池田 信一
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内
(72)発明者 西野 功二
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内
(72)発明者 中村 修
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内
(72)発明者 土肥 亮介
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内
(72)発明者 松本 薦諮
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内

Fターム(参考) 2F030 CA04 CC11 CE04 CF05 CF08
5H307 AA02 AA20 B801 DD01 DD07
DD08 DD12 DD17 EE02 FF03
FF12 FF13 FF15 JJ01 JJ03